

欧洲医院标准评述

同济大学 沈晋明[★] 朱青青 张 成

摘要 评述了欧洲各国医院标准,针对 VDI 2176 标准中的《医院建筑设施——供热、通风与空气调节》第 1 部分,介绍了该标准的应用范围,卫生级别的定义,供热、通风与空气调节新概念和手术室验收等内容,对标准中这些要求及与感染控制问题的关系进行了论述。

关键词 医院建筑 欧洲标准 卫生级别 环境控制特点 节能措施

Review of hospital standards in Europe

By Shen Jinming[★], Zhu Qingqing and Zhang Cheng

Abstract Reviews the standards in Europe applied to hospital HVAC design, and gives an overview over the part 1 of *Building services in hospitals—Heating, ventilation and air-conditioning* in the Guideline VDI 2167. Presents the scope of the VDI Guideline, the hygiene class defined, the new HVAC concepts as well as the qualification of new operating rooms. Discusses the requirements as well as their relation to infection control issues.

Keywords hospital building, European standard, hygiene class, feature of indoor control, energy-conservation method

★ Tongji University, Shanghai, China

①

0 引言

医院的环境控制除了满足舒适性要求以外,更要满足医疗过程与感染控制要求,以及降低投资与运行费用。尽管各国医院相关标准表述不一,但医院环境控制宗旨是一致的。医院是多种病原与易感人群高度集合、混杂的一个特殊场所,各国标准始终对院内感染予以极大的重视。医院最难于控制的是气溶胶传染与手术部位感染(surgical site infection)。近年来感染控制出现了新观念,各国标准中提出了相应的技术措施,降低了医院投资与运行费用。笔者在文献[1]中介绍了《医院暖通空调设计与运行指南(草案)》(Guidelines (draft): designing and operating heating, ventilation and air-conditioning in hospitals),该指南是由德国医疗卫生协会 DGKH,瑞士医疗卫生协会 SGSH 和奥地利卫生、微生物及预防医学会 ÖGHMP 三家专业机构支持,包括微生物学、卫生学和工程学等多学科的暖通空调工作组制定起草的指导医院和外科门诊空调系统设计、建造、安装和运行的技术规范。2002 年在柏林以黄页形式公布了第三稿,并刊登在 2002 年《卫生与医疗》杂志(Hygiene und Medizin)上^[2],供公众评论。该指南不是要替代国家技术导则,只是作为相应指南或标准的修订基础,在实践中被引用,思考与原有的准则或规范中不一致的方

面。后来荷兰卫生设施委员会 NBHF 也参加了此项工作。由于评论反馈意见相左,难以达成一致意见,所以至今该指南尚未形成正式文本。

由于当时期望该指南作为欧洲医院标准制定的基础,因此我国一些医院以及相关的设计院、工程公司误称该指南为欧洲医院标准,并对此感兴趣,由于资料来源、翻译或理解上的种种问题,造成了一些误解,甚至在设计与施工上出现一些不妥的做法。为此笔者根据多年的技术积累就相关的欧洲各标准作一介绍。

1 欧洲国家医院的相关标准

欧洲标准应由欧洲标准委员会(European Committee for Standardization)负责制定或组织编写。为此负责建筑通风的欧洲标准委员会 156 技术委员会(Technical Committees,简称 CEN/TC 156),特地同意成立 13 工作组(working group)专门负责制定医院通风标准。欧洲标准应用范围主要在传统欧洲大陆,德国标准影响较大,英国标

①☆ 沈晋明,男,1946 年 10 月生,博士,教授,博士生导师
200092 同济大学机械工程学院
(021) 65988388
E-mail:jinming_shen@163.com
收稿日期:2008-08-06

准^[3]和俄罗斯标准^[4]影响较小,已有另文叙述,本文不作介绍。德国标准草案往往以黄页形式公布,而正式标准以白页形式颁布。

过去欧洲医院方面的通风空调标准主要参照德国标准《通风与空调》(DIN 1946)第 4 部分“医院通风空调”,对此笔者在文献^[5]中已作了介绍。自 DIN1946 第 4 部分 1989 年颁布以来,在 1999 年 3 月就开始修订,于 2005 年 4 月颁布了修订草案第一稿,于 2007 年 7 月颁布修订草案第二稿。但几次修订结果都不令人满意。因此许多国家或组织公布或修订了自己的准则、指南或标准。医院标准往往将手术部作为其阐述的重点。

2000 年,罗伯特·科赫研究所发表了关于卫生学的新准则^[6],从医疗角度出发,对医疗环境控制提出了要求,特别对用在手术室的 HVAC 系统提出以下要求,奠定了基本原则。

1) 单向流通风方式对于有高感染风险无菌手术介入是必要的。

2) 送风天花尺寸应依据手术介入类型而定。通常,手术台与器械桌应该受到保护。

3) 1 级房间(DIN 1946-4 规定)应该建在手术部里。

上述由德国、瑞士、奥地利三国医疗卫生协会起草的《医院暖通空调设计与运行指南(草案)》是于 2002 年公布的,该指南有如下特点:

1) 认为将“空调系统作为送风污染源”是在理念上的突破,只有这样才能彻底解决室内悬浮菌对术后感染的影响问题。

2) 提出了“和风空调”(gentle air conditioning)概念,以低速、稳定、舒适的气流进行空调,靠室内冷(热)辐射面换热来降低送风量,这样送风量可降到仅用于供氧、除湿、除异味和污染物,或在特定区域防止感染的风量。不仅提高舒适度,而且还降低投资与运行费用。

3) 临床和微生物学研究表明,对于非器官移植、关节置换手术,空气不是能引起局部术后感染的微生物滋生的适宜环境因素,依此理论可降低对一般手术室环境控制的要求。

4) 提出“维持动态保护区域”理念,用经高效过滤器过滤的洁净、无菌单向流气流(出风湍流度 $<5\%$)笼罩手术台和器械桌周围的手术区域(即保护区域),要求保护区域面积为 $2.8\text{ m} \times 2.8\text{ m}$ 。与室内其他区域分离开来,即动态保护,将术后感染降到最低。不再强调手术室与周围环境的隔离。

法国 2003 年颁布了《医疗设施洁净室及相应受控环境》(NF S90-351)标准,建议医疗需求应与相应区域的要求一致。其中一个显著特点是提出了“风险”的概念。通常将手术室定为 4 级危险区,这与医学科技发展水平有关。其中一个重要细节是风险的界定并不是根据手术类型,而

是根据治疗过程(治疗过程的复杂程度和持续时间等)和患者的身体状况。考虑到的手术包括外伤、眼科、心血管和神经外科等。为此首先应对手术过程与患者状态进行风险评估(见表 1),以确定手术环境要求(如洁净度级别)。

表 1 医疗风险确定与分级

患者状态的风险因子	医疗过程的风险因子			
	1	2	3	4
1	1	2	3	4
2	2	4	6	8
3	3	6	9	12
4	4	8	12	16

表中 12~16 分规定为 4 类风险区(极高风险),6~9 分为 3 类风险区(高风险),2~4 分为 2 类风险区(一般风险),1 分为 1 类风险区(低风险)。

法国标准 NF S90-351 推荐的第 4 类风险区一些准则如下。

1) 三级过滤系统:空气处理机进风最低为 F6(过滤效率为 70%~80%),出风为 F7(过滤效率为 80%~90%),而送风末端为 H13(过滤效率为 99.95%);

2) 达到 ISO 14644-1 标准的 5 级(即原美国 FS 209 标准的 100 级);

3) 送风天花、单向流;

4) 室内换气次数大于 50 h^{-1} 。

西班牙 2005 年颁布《医院空调》(UNE 100713)标准,手术室分类如同德国标准 DIN 1946-4,将医疗科室分为两级,手术室为 1 级,再分为 1A 和 1B 两级,要求如下:

1) 三级过滤,由 F6(过滤效率为 70%~80%),F9(过滤效率 $>95\%$)和 H13(过滤效率为 99.95%)或 H14(过滤效率为 99.995%)三级组成;

2) 高效过滤送风天花,1A 手术室为单向流,1B 手术室为单向流或非单向流;

3) 均是 100%的新风;

4) 室内换气次数大于 30 h^{-1} 。

在欧洲大陆最早将空气洁净技术引入到医院环境控制的是瑞士,曾引起不少争议与非议,但瑞士坚持开展大量的理论与实际应用。在此基础上,从 1997 年 1 月 22 日瑞士开始编写《医院供热、通风与空气调节系统》(SWKI 99-30)标准,于 2001 年公布第一稿草案,于 2002 年公布最后修订本,2003 年 5 月正式颁布。鉴于该标准在实践中成功应用,德国工程师协会 VDI 参照该瑞士标准编写了《医院建筑设施》(VDI 2167)第 1 部分“暖通空调”,于 2004 年 12 月公布草案,与 SWKI 99-30 标准的正文基本上是一致的。其间与德国标准 DIN 1946 第 4 部分不断协调,终于在 2007 年 8 月以白页形式正式颁布。2005 年 9 月颁布的奥地利标准《医院设施通风空调设备,安装、运行和技术与卫生控制》(ÖNORM H 6020)编制思路基本上也是这样。

因上述由德国、瑞士和奥地利三国医疗卫生机构编写的所谓欧洲医院标准尚未通过,而 DIN 1946 第 4 部分修订又不理想,意见较大,因此《医院建筑设施》(VDI 2167)第 1 部分“暖通空调”正式颁布后不断被引用,很快成为欧洲大陆医院建设的依据,并且其影响力越来越大,并有可能成为欧洲标准,故本文将在下文重点介绍 VDI 2167。

2 德国工程师协会(VDI)标准 2167

2.1 VDI 2167 标准简介

VDI 2167 标准《医院建筑设施——供热、通风与空气调节》由标准正文与信息性附录组成,具体章节目录如下:

1 范围;2 术语,组织,缩写;3 概论;4 科室分级;5 评定方法;6 保护效果确定;7 评定;8 设计;9 实施;10 系统认证;11 验收;12 运行;13 再认证与优化;参考文献;附录 A 暖通空调概念的实例(信息性);附录 B 系统组件标识和系统文件;附录 C 手术室的验证。

2.2 标准医疗卫生级别的改进

该标准首先提出空气中浮游微生物浓度不再用作手术室中 HVAC 系统的一项评价指标。因此微生物的测试不再被检测验收所接受,也不再是手术室的日常监测参数。

当然,经证实空气中悬浮菌浓度高将会导致沉降率增加,进而推理会导致感染概率增大。为此对通风与空气调节系统进行改进,以达到“降低感染率”的思维未必合适。通风与空气调节系统对预防感染是必要的,但作用有限,其他污染途径及其预防对策更加必要。

《通风与空调》(DIN 1946)第 4 部分将医院分成两级,即高度无菌要求与一般无菌要求。一级手术室再分成 a, b 两级。VDI 2167 标准为了确定合适的卫生技术措施,依据科室的功能与卫生学相关性进行了分组。标准提出了以下 3 个卫生级别:

- 1) 手术室和其他用于外科介入房间(卫生要求最高);
- 2) 卫生要求较高的房间;
- 3) 卫生相关房间。

2.2.1 卫生相关房间

作为原则性问题,在医疗机构中,任何用于患者治疗和护理的房间或者患者使用的药物保存和储存的房间均被称为卫生相关科室,这也包括医用厨房和废弃物处理部门。

卫生相关房间如病房、产房、剖腹产房、急诊室、恢复观察室和候诊室等存在不确定的病原体的危险,其通风和空调系统有必要为患者候诊室提供高效的换气。现在标准规定这些房间里的新风量大于 $75 \text{ m}^3/(\text{人} \cdot \text{h})$ 。免疫抑制的患者应该使用隔离候诊室。

2.2.2 卫生要求较高的房间

包括收治入院和药物治疗患者的科室,患者的身体状况增大了接触空气途径传染病菌的风险。在诊断和治疗过程存在释放微生物危险的房间,直接将人员暴露在感染的危险中,应有较高的卫生要求。此外,在无菌物品储藏室和

无菌通道中也必须有较高的卫生要求。

这一卫生级别相当于 DIN 1946 的 2 级,包括下列房间和房间组:

- 1) 无菌物品储存/无菌通道;
- 2) 血管造影术手术室,心脏导管室,异体植入手术室;
- 3) 小型外科手术室,皮肤诊疗室,伤口护理室;
- 4) 无菌护理室,接受移植手术病患观察室,隔离室;
- 5) 重症监护病房,包括新生儿室;
- 6) 内窥镜诊断室。

这些房间通风空调系统应该增加新风量,大于 $100 \text{ m}^3/(\text{人} \cdot \text{h})$ 。送风经 F9 级空气过滤器过滤(依据 EN 779 标准)。要求送风进入房间形成良好的“湍流混掺”均匀分布。该级别涉及的小型外科手术室控制要求与我国的国标《综合医院建筑技术规范》中一般手术室是一致的^[7]。

VDI 2167 标准将用于空气传染疾病的隔离病房作为一种特例,除了要求病房密闭外,还规定必须有专用的通风与空气调节方式。每间房间送风量应保证大于 $500 \text{ m}^3/\text{h}$ (或 12 h^{-1} 换气)。病房与相邻房间应维持一定的负压,并用一个“主动气闸”来保护环境。可将气闸送风作为房间的送风,而不是要求全负压梯度控制;送风量可通过使用带有效过滤的自循环机组减少,而不是采用全新风直排系统。这些均为新的理念。为了避免污染管道系统及其相邻的房间,排气应先经过高效过滤器过滤后再进入排风管路。这些措施可大大降低造价与运行费用。这一思路与笔者在 SARS 隔离病房采用的一系列措施是一致的^[8]。

2.2.3 手术室和其他用于外科介入房间

这一卫生级别相当于 DIN 1946 的 1 级,VDI 2167 标准认为降低术后感染的风险,所有用于外科介入手术的防护方法均应接受。手术风险很大程度上取决于手术类型。大多数术后感染是由患者自身代谢物引起的(如在皮肤上,或在肠道等器官上产生的其他感染物)。在这种情况下,手术室环境空气质量的要求就相对次要了。即便如此,现代外科甚至内科介入手术均规定要求保护无菌器械和避免空气污染的器械。单纯依靠手术通风空调设施来减少室内悬浮菌浓度的做法在许多场合不适用。这对降低投资和运行费用来说特别重要。应该更多地重视其他的相应措施(例如,个人防护衣,患者有效的遮挡,等等)。

对于手术室和其他外科介入房间的技术措施与保护目的性是一致的,这是最近根据医疗卫生角度定义的。即最大可能减少在手术期间细菌侵入伤口。对手术室及其他外科介入房间送风需要通过末端高效空气过滤器;对于 1a 级手术室(见表 2)须经过有效的高效空气过滤,用低湍流度气流,使被保护区域充满垂直置换气流,动态地抵御污染入侵。通过单向流,快速而有效地将源自关键区域的污染从保护区域排出。单向流的送风口最小面积应维持在 9.0 m^2 左右(在特别情况下可使用较小尺寸的送风口,不再规定为 3.2

表 2 DIN 1946 标准第 4 部分医院环境控制级别

级别	1 级, 高度无菌要求		2 级, 一般 无菌要求
	1a	1b	
过滤器级数 与要求	三级过滤, 一级过滤器 F5 到 F7, 三级过滤 二级 F9, 三级至少为 III13		两级过滤
气流流型	低湍流度的置换流		乱流

m×3.2 m)。这些与我国国标《医院洁净手术部建筑技术规范》中控制思路与技术措施相似^[9]。

2.3 标准技术措施的改进

VDI 2167 标准第 1 部分相对于 DIN 1946 标准第 4 部分在医院环境控制措施方面有不少的改进(见表 3), 特别是在降低造价与运行费用方面。

表 3 VDI 2167 第 1 部分与 DIN 1946 第 4 部分的比较

	VDI 2167 - 1	DIN 1946 - 4
房间级别	三级	二级(不涉及卫生相关的房间)
分级细则	较为详尽	很少
无菌环境控制	关键区域动态屏蔽	传统区域控制理念
低湍流置换气流 形式检验	要求检测	没有要求
低湍流置换 气流检测	湍流度	湍流度与粒子浓度
通风空调设备	允许设置在室内	不允许设置在室内
一级手术室内维修	允许	不允许
系统回风	允许采用其他房间 回风	只允许自室或同一功能的邻室 回风
送风天花面积	约 9 m ²	3.2 m×3.2 m
送风速度/(m/s)	0.24~0.30	≥0.23
送风量/(m ³ /h)	7 800~9 700	≥8 500
室外新风量/(m ³ /h)	800~1 200	≥1 200
送风温度/℃	低于室内温度	19~26
A 声级噪声/dB	≤48	≤45

VDI 2167 标准第 1 部分改变了 DIN 1946 第 4 部分不允许在手术室内设置通风空调机组的规定(美国与日本相关标准也有类似条文), 采用了自循环送风天花, 新风独立处理。为此不得不放宽噪声控制(见表 3)。这对 VDI 2167 标准来说应是思路上的一个突破。其次改变德国标准过去一贯减少送风量来寻求降低运行费用的思路, 而采用减少系统送风量、增加就近循环风量来降低运行能耗。新风量基于稀释麻醉气体发生量, 规定为 800~1 200 m³/h。再靠自循环送风天花加大送风速度。这有些类似中国标准推荐的新风独立处理与自循环机组的系统, 只不过自循环机组设置在技术夹层, 而不是室内^[10]。由于 VDI 2167 标准要求自循环机组设置在室内, 则自循环机组应该保证干式冷却。

手术保护区域是由优化引导局部送风气流和延伸周边环境挡来保证, 围挡的下边缘离地面大约 2.1 m 处, 可提高送风气流速度和温度的均匀性。送风气流在房间里自循环和冷却。DIN 1946 标准由于受限于 20 h⁻¹ 换气的送风量, 送风截面风速规定得很小^[5], 该值在修订过程中不断提高。

而 VDI 2167 标准由于采用了自循环方式可大大提高送风装置送风截面风速(见表 3), 与我国国标《医院洁净手术部建筑技术规范》中规定的 1 级洁净手术室送风截面风速基本一致。

VDI 2167 标准提出用一个性能良好的局部送风装置来实施“动态屏蔽”的思路。送风气流的适当流型应是一个湍流度小于 5% 的竖直低湍流的置换流, 即由一个无菌、无尘的稳定气流与周边区域分开, 屏蔽周边区域污染空气, 保护手术台和器械桌。为了维持这一气流特性, 还要求送风气流的温度须始终比周围气温低 0.5 ℃ 以上(室内温度保持在 18~24 ℃ 之间, 相对湿度不应超过 50%)。这意味着低湍流度置换流的送风口不能用于供热工况。“动态屏蔽”可以有效降低对手术室周边区域污染控制与正压控制要求, 也可降低邻室的环境控制要求, 有利于降低手术室造价和运行费用。

“动态屏蔽”势必对送风天花的性能提出更高的要求, 只有效果极好的竖直低湍流的置换气流才能为大型、复杂的介入手术提供动态保护区域。国内工程公司对手术室送风装置性能不够重视, 普遍采用自制的送风装置, 许钟麟研究员开发出性能良好的送风天花^[11], 获得了广泛的应用。为此笔者曾对送风装置提出了性能评价方法^[12]。VDI 2167 标准对这种局部送风装置提出了一个性能测试方法。为了确定送风装置的保护效果, 采用测量保护区域内外颗粒浓度而不是微生物浓度的做法。规定送风装置的送风量为 3.0 m³/s, 在室内 6 个指定位置喷出稳定源强的粒子负荷, 以保证参照粒子负荷不随时间变化, 保证测试结果在所有情况下都一样。然后再测量保护区内外粒子浓度, 这与当年评价洁净棚性能方法类似, 将保护区内外粒子浓度比值称为隔离效果^[13]。而 VDI 2167 标准是用保护区内外测得的粒子浓度比来计算保护级别。保护级别 SG 定义如下:

$$SG_X = \lg \frac{C_X}{C_{Ref}} \quad (1)$$

式中 SG_X 为 X 处保护级别; C_X 为测点 X 处的粒子浓度, 粒/ft³; C_{Ref} 为参照的粒子浓度, 10⁶ 粒/ft³。

要求关节置换手术等高度无菌手术室保护级别为 4 级, 一般无菌手术室保护级别为 3 级^[14]。这是测试评价的结果, 实际运行时周边粒子浓度很低, 保护区内外测量粒子浓度比值不可能那么高。

2.4 手术室的检测验收

VDI 2167 标准十分重视对手术室的检测与验收。将手术室验收分成两部分, 一个为技术验收部分(系统的性能参数), 另一个为卫生验收部分(保护效果验证)。验收小组包括系统的设计者、供应商、施工者及卫生评估专家。

2.4.1 技术验收

手术室的技术验收涉及通风与空气调节系统的净化能

力。要求在额定负荷下测得下列系统参数,并进行评价。由于采用自循环送风天花,增加了回流气流对送风气流干扰的检测项目。

- 1) 空气过滤器的密封和渗漏试验;
- 2) 送、排风量和正压渗透风量;
- 3) 手术室门口正压渗透风的方向;
- 4) 回流到上方送风末端静压箱的气流对送风天花装置的送风速度和温度的干扰;
- 5) 送风和排风温度的平均值;
- 6) 送风温度与房间温度的偏差;
- 7) 房间四周围护板壁的表面温度;
- 8) 舒适性参数(地板上方 1.75 m)——气流速度,湍流度,温度,相对湿度,声压级。

2.4.2 卫生验收

VDI 2167 标准定位在 ISO 14644 标准的系列里。标准里规定了参照测试负荷,所有的测试必须具有可再生和可对比性的条件。为了评价手术室保护效果,基本方法如下:

- 1) 内部热负荷对室内空气流动方式有相当大的影响,在测量时应该对其进行模拟;
- 2) 应该用合适的方法产生足够浓度的气溶胶,并以测量数据验证;
- 3) 测量应适于实际用途并且必须产生可比较和可再生的结果(具可重复性);
- 4) 测量允许在整个手术室,尤其在被保护区域内,对空气质量进行评述。

测试是一项完整、总体地评价手术室气流保护效果的工作。验收计划编制和测试工作是非常复杂的,以保证这种测试能更有效,并具重复性。这样不仅可以检查各供货商的部件,还可以检查部件之间的联动使用效果。在卫生验收方面,瑞士供热和空调工程师协会 SWKI 做了不少工作。

3 结语

本文回顾了欧洲各国医院标准以及发展趋势,尽管各国医院相关标准表述不一,但医院环境控制宗旨一致,即致力于满足医疗过程、感染控制与舒适性三大要求。近年来各国对降低医院投资与运行费用给予了极大重视,也出现了一些新的思路与相应的技术措施^[16]。随着对医院感染控制的认识提高,环境控制措施逐渐趋向一致,各国医院标准的差异也不断缩小。原先欧美医院环境控制的观点差异较大,而最新美国医院相关标准也接受了欧洲思路与方法^[16-17],同样也趋同于我国医院相关的建筑技术规范。

推动欧洲医院标准的发展应归功于瑞士供热和空调工程师协会 SWKI 数 10 年的不懈努力。德国工程师协会 VDI 认可了这些科研成果和实践验证,VDI 2167 标准自

颁布以来,已经显示其越来越大的影响力,逐渐被欧洲各国认可,向欧洲标准迈出了第一步。VDI 2167 标准中这些新的概念、思路和技术措施^[18]值得我们思考与探讨,为国标《医院洁净手术部建筑技术规范》今后修订做前期理论准备与技术储备,这将有助于推动我国医院建设的健康发展。

参考文献:

- [1] 沈晋明. 我国手术部控制思路与发展[C]// 全国暖通空调制冷 2006 年学术年会论文集. 合肥, 2006
- [2] DGKH, SGSH, ÖGHMP. Guidelines(draft): designing and operating of heating, ventilation and air-conditioning (HVAC) in hospitals [J]. Hygiene und Medizin, 2002(27): 106-113
- [3] 沈晋明. 英国的医院标准和手术室设计《医院洁净手术部建设标准》调研报告之四[J]. 洁净与空调技术, 2000(1): 2-8
- [4] 刘燕敏. 浅析俄罗斯标准《医院空气洁净度一般要求》[J]. 暖通空调, 2007, 37(12): 54-57
- [5] 沈晋明. 联邦德国的医院标准和手术室设计《医院洁净手术部建设标准》调研报告之一[J]. 暖通空调, 2000, 30(2): 33-37
- [6] Robert Koch Institute. Requirements on hygiene for operations and other invasive surgery [G]// Bundesgesundheitsblatt 43, 2000: 644-648
- [7] 沈晋明. 一般手术部环境控制依据[J]. 洁净与空调技术, 2005(4): 1-4
- [8] 沈晋明. 多用途隔离病房和无凝水空调技术[J]. 建筑热能通风空调, 2005, 24(3): 22-26
- [9] 沈晋明. 医院洁净手术部的净化空调系统设计理念与方法[J]. 暖通空调, 2001, 31(5): 7-12
- [10] Shen Jinming. Controlled clean operating room area[G]// ASHRAE Trans, 2004, 110(2): 776-780
- [11] 许钟麟, 梅自力, 郭大荣, 等. 洁净手术室集中送风方式的最新成果阻漏式洁净送风天花板[J]. 中国医院建筑与装备, 2002(3): 11-14
- [12] 毛继传, 沈晋明. 洁净室阻漏送风末端装置性能与评价[J]. 洁净与空调技术, 2004(1): 37-41
- [13] 沈晋明. 气幕洁净棚特性研究 [J]. 洁净技术, 1983 (1): 8-12
- [14] Kulpmann R. Abnahmevorschlag für TAV-Lüftungsdecken in OP-Räumen [C] // Proceedings DGKH, 6th Internationaler Kongress, Berlin, 2002
- [15] Meierhans R. Radical changes in HVAC-planning-also in hospitals [J]. Hygiene und Medizin, 1999, 24 (3): 88-97
- [16] 沈晋明, 马晓琼. 美国医院设计和建造的最新动态[J]. 暖通空调, 2006, 36(11): 33-38
- [17] Paul Ninomura, Richard Hermans. Ventilation standard for health care facilities [J]. ASHRAE J, 2008, 50(10): 52-58
- [18] 沈晋明, 黄建倩. 德国医院新标准新概念[J]. 中国医院建筑与装备, 2008(9): 20-25